第38卷 第4期
2021年7月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 38 No. 4
Jul. 2021

基于负载指数的中蒙俄经济走廊水资源开发潜力评价

李 丽[1,2]， 刘诗奇[1]， 王 平[1,3]， 乔 源[2]， 王 涛[2]， 王田野[4]，
李泽红[1,3]， Tcogto Bazarzhapov[1,3]

（1. 中国科学院地理科学与资源研究所，陆地水循环及地表过程重点实验室，资源利用与环境修复重点实验室，北京 100101；2. 兰州大学资源环境学院，甘肃 兰州 730000；3. 中国科学院大学，北京 100049；4. 郑州大学水利科学与工程学院，河南 郑州 450001）

摘 要：利用“中蒙俄经济走廊”43个省级行政单元2016年的地表水资源量、降水量以及人口、GDP等数据，采用水资源负载指数计算方法，系统分析了该地区水资源分布特征及开发潜力。结果表明：“中蒙俄经济走廊”地表水资源呈“东多西少、北多南少、中减最少”空间格局，其中俄罗斯地表水资源丰富，约占经济走廊地表总水资源量的95%，除人口少、水资源需求相对较小，还具有水资源利用程度低、开发潜力大的特点；蒙古国北部地表水资源较为丰富，其中5个行政区水资源负载指数小于1，具有一定的开发潜力，但南部地表水资源严重短缺；中国东北三省及内蒙古自治区由于人口密度相对较大，水资源需求量大，水资源负载指数均大于2，开发潜力低。从区域水资源优化配置角度来看，蒙古国南部和中国四省（自治区）是需要水资源优化配置的重点地区，而俄罗斯则具有缓解“中蒙俄经济走廊”缺少地区水资源问题的条件。但由于水资源的开发利用与社会经济发展紧密关联，“中蒙俄经济走廊”内的水资源合作路径仍有待于深入研究。

关键词：中蒙俄经济走廊；水资源格局；水资源开发潜力；水资源负载指数

淡水资源短缺[1]及水资源安全问题[2]是21世纪全球面临的重要挑战之一[3-4]。自20世纪50年代起，北半球多地普遍存在水资源短缺问题[3]。2019年《世界水发展报告》指出，2050年全球用水量将比目前增加20%~30%，危及20多亿人口的生产与生活[5]。因此，水资源作为基础性自然资源和战略性经济资源，深刻影响全球生态环境及可持续发展[6]。

俄罗斯水资源储量位居世界前列，其中河川径流量占全球的11%，主要集中在地广人稀的西伯利亚地区[4,7]。蒙古国可再生内陆淡水资源量仅占全球总量的0.08%，约35 km^3。由于水资源短缺、水环境污染严重，蒙古国面临严峻的水安全问题[8]。我国可再生内陆淡水资源为0.28×10^4 km^3，约占全球总量的6.5%。但随着变暖，我国部分地区干旱问题加剧，内陆河径流减少甚至出现断流[9-10]。到2040年，中、蒙两国可利用水资源量将面临巨大压力，俄罗斯则相对乐观[11]。

“中俄蒙经济走廊”地处北半球中高纬度地区，涵盖森林、草原、沙漠、戈壁、冻土等不同地理景观，水资源空间分布极度不平衡，且存在中纬度水文干旱与中高纬度洪涝、地表水水质恶化、跨境水资源纠纷等多重问题。因此，在气候变暖背景下，中、蒙、俄在水资源合理开发利用方面面临不同程度的挑战，急需开展跨国合作和科学研究。本文以“中蒙俄经济走廊”为对象，分析其水资源分布特征、影响因素、开发潜力，为促进区域水资源合理开发利用和生态环境保护提供科学依据。

1 研究区概况

据国家科技基础资源调查专项“中蒙俄国际经济走廊多学科联合考察”项目，本研究的“中蒙俄经

收稿日期：2020-10-19； **修订日期：**2021-03-12
基金项目：国家科技基础资源调查专项课题（2017FY101302，2017FY101301）；中国科学院战略性先导科技专项子课题（XDA200302010）；中国博士后科学基金资助项目（07Z76095Z1）；中国科学院重点部署项目（ZDRW-ZS-2017-4）
作者简介：李丽（1997-），女，主要从事水文水资源研究. E-mail: ll17@lzu.edu.cn
通讯作者：王平. E-mail: wangping@igsnrr.ac.cn

济走廊”总面积约9.20×10^6 km^2,其中包括中国1.99×10^6 km^2,俄罗斯6.45×10^6 km^2,蒙古国7.6×10^5 km^2。研究区自东向西经过东北平原、东西伯利亚山地、蒙古高原、中西伯利亚高原、西西伯利亚平原及东欧平原(图1),气候逐渐由温带季风性气候向温带大陆性气候、温带半干旱气候、温带干旱气候及温带大陆性气候过渡。研究区年均气温在-5~15 ℃之间,年均降水量为50~1000 mm[12]。

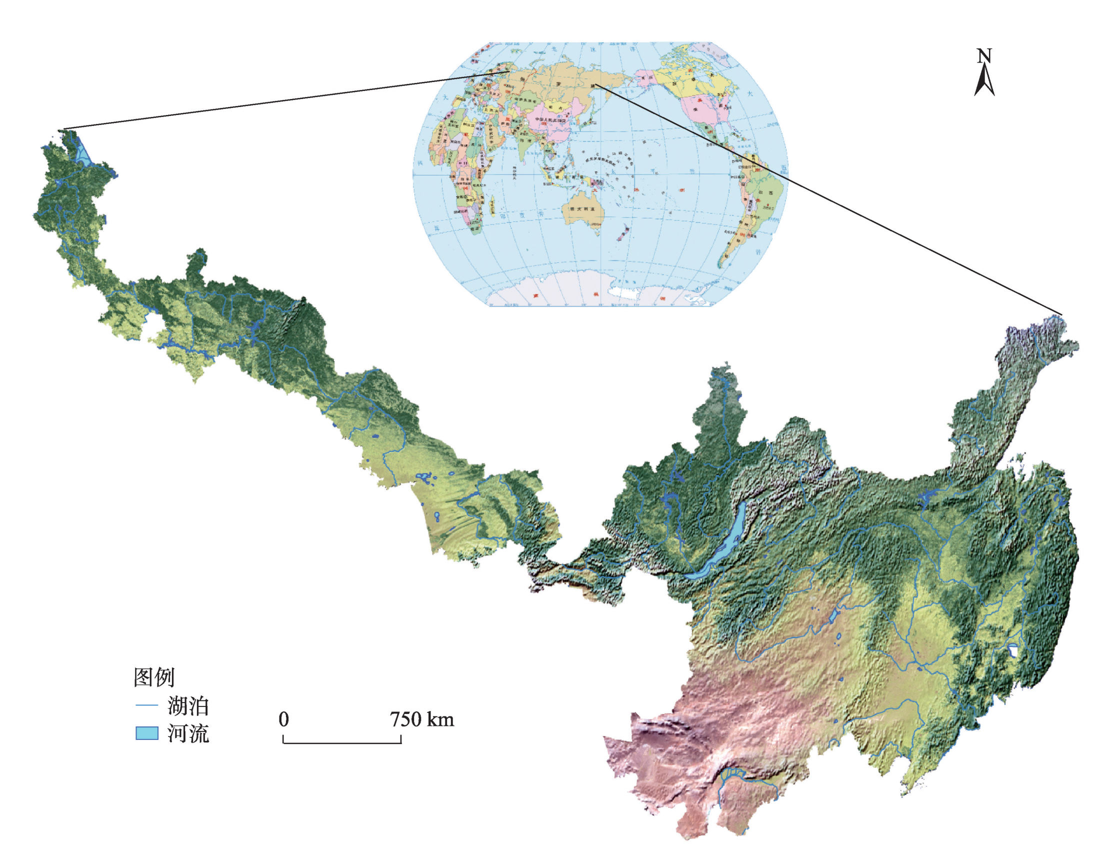
俄罗斯部分地表水资源量最为丰富,拥有勒拿河、叶尼塞河、鄂毕河和伏尔加河等大河,以及世界第一大淡水湖——贝加尔湖[7]。蒙古国境内多发育内流河和内流湖,河流径流季节变化显著,夏季为汛期,冬季会出现断流或冻结。发源于蒙古国库苏古尔湖以南的色楞格河向北流入俄罗斯,并最终注入贝加尔湖,而发源于肯特山东麓的克鲁伦河,向东流入我国呼伦湖。我国东三省及内蒙古东部地区的地表水资源主要来自夏季降水,6—9月的累计降水占全年总量的55%~74%,河流径流具有明显的丰、枯期变化和年际变化[13],主要河流包括辽河和横跨中蒙俄三国的亚洲大河——黑龙江。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源

研究区包括中国4个省(自治区)、蒙古国12个盟(市)、俄罗斯27个边疆区(共和国、州)。中国地表水资源数据来源于水利部2016年《中国水资源公报》(http://www.mwr.gov.cn/zzsc/tjgb/szygb/2016/mobile/index.html#p=8)。俄罗斯地表水资源来源于2016年《国家水资源公报:地表水与地下水资源、利用及水质》[14]。蒙古国由于缺失2016年水资源数据,故采用2012年各盟(市)的地表水统计数据[15](表1)。全球降水气候中心(Global Precipitation Climatology Center, GPCC)的降水数据在北半球中高纬度地区与气象台站实测资料具有较好的一致性[16],故采用GPCC发布的0.25°格网月尺度降水再分析数据(https://opendata.dwd.de/climate_environment/GPCC/html/fulldata-monthly_v2018_doi_download.html)。

我国2016年人口与GDP数据则来源于各省(自治区)统计年鉴(辽宁省:http://www.ln.stats.gov.cn/



注:以审图号GS(2016)2948号为底图做图,无修改。下同。

图1　“中蒙俄经济走廊”地理位置示意图

Fig. 1　Geographical location of “China-Mongolia-Russia Economic Corridor”

表1 2016年“中蒙俄经济走廊”43个行政区地表水资源量、年平均降水量、人口及GDP数据

Tab. 1 Statistics on surface water resources, mean annual precipitation, population and GDP in 2016 for the 43 administrative districts of the “China-Mongolia-Russia Economic Corridor”

编号	国家	行政区	地表水资源量 /10^8 m^3	年降水量 /mm	人口 /10^4人	GDP /10^8美元
1	蒙古国	鄂尔浑盟	0.05	400	10.18	5.17
2	蒙古国	达尔汗乌勒盟	0.44	297	10.19	1.81
3	蒙古国	乌兰巴托市	7.70	274	144.04	73.21
4	蒙古国	戈壁苏木贝尔盟	0.10	104	1.69	0.39
5	蒙古国	色楞格盟	32.00	310	10.75	2.59
6	蒙古国	中央盟	19.10	268	9.17	2.38
7	蒙古国	中戈壁盟	11.20	147	4.48	1.05
8	蒙古国	肯特盟	66.90	239	7.37	1.55
9	蒙古国	苏赫巴托尔盟	1.40	258	5.98	1.54
10	蒙古国	东戈壁盟	0.50	143	6.65	1.27
11	蒙古国	东方盟	15.10	204	7.76	3.15
12	蒙古国	南戈壁盟	0.38	161	6.33	1.88
13	俄罗斯	马里埃尔共和国	1095.00	596	68.59	23.69
14	俄罗斯	莫尔多瓦共和国	68.00	592	80.74	30.11
15	俄罗斯	鞑靼斯坦共和国	2602.00	521	386.87	288.52
16	俄罗斯	弗拉基米尔州	342.00	681	139.72	58.77
17	俄罗斯	犹太自治州	2396.00	877	16.61	6.87
18	俄罗斯	乌德穆尔特共和国	772.00	575	151.72	79.38
19	俄罗斯	莫斯科州	180.00	763	731.86	546.61
20	俄罗斯	诺夫哥罗德州	241.00	937	61.57	36.33
21	俄罗斯	哈卡斯共和国	1094.00	623	53.68	29.30
22	俄罗斯	列宁格勒州	905.00	823	177.88	136.78
23	俄罗斯	下诺夫戈洛德州	1032.00	672	326.03	173.25
24	俄罗斯	特维尔州	233.00	784	130.48	53.96
25	俄罗斯	克麦罗沃州	400.00	678	271.76	129.15
26	俄罗斯	基洛夫州	538.00	597	129.75	43.74
27	俄罗斯	鄂木斯克州	574.00	464	197.85	92.76
28	俄罗斯	秋明州	6728.00	499	361.55	896.95
29	俄罗斯	彼尔姆边疆区	671.00	591	263.44	163.58
30	俄罗斯	滨海边疆区	850.00	935	192.90	110.33
31	俄罗斯	阿尔泰边疆区	617.00	594	237.67	74.91
32	俄罗斯	图瓦共和国	545.00	425	31.56	7.88
33	俄罗斯	新西伯利亚州	703.00	409	276.22	156.25
34	俄罗斯	斯维尔德洛夫斯克州	393.00	511	433.00	297.14
35	俄罗斯	布里亚特共和国	867.00	341	98.23	29.59
36	俄罗斯	阿穆尔州	2065.00	667	80.57	40.46
37	俄罗斯	伊尔库茨克州	2716.00	349	241.28	159.17
38	俄罗斯	外贝加尔边疆区	816.00	395	108.30	41.36
39	俄罗斯	哈巴洛夫斯克边疆区	5763.00	627	133.45	93.64
40	中国	辽宁省	152.00	729	4232.00	3345.40
41	中国	吉林省	272.00	753	2645.50	2222.08
42	中国	黑龙江省	686.00	575	3799.23	2313.70
43	中国	内蒙古自治区	402.10	339	2520.10	2801.89

tjsj/sjcx/ndsj/otherpages/2017/indexch.htm;吉林省:http://tjj.jl.gov.cn/tjsj/tjnj/2017/ml/indexc.htm;黑龙江省:http://www.hlj.stats.gov.cn/tjsj/tjnj/201801/t20180105_62314.html;内蒙古:http://tj.nmg.gov.cn/Files/tjnj/2017/zk/indexce.htm)。俄罗斯和蒙古国2016年人口与GDP数据分别来源于俄罗斯联邦国家统计局(https://rosstat.gov.ru/)和蒙古国家统计局(http://www.1212.mn/)。GDP数据统一按2016年兑换汇率换算为美元,为1美元=2145蒙古图格里克=67.0卢布=6.65人民币。

2.2 研究方法

水资源负载指数是通过建立区域水资源与人口、社会经济间的关系,反映水资源利用程度,判断水资源开发难易程度[17]。由于计算简便、所需数据可获取性强[17],该指数已被广泛应用于中国三级流域[18]至"一带一路"沿线国家[19]等不同尺度的水资源开发利用研究中。一般采用研究区人口、生产总值和水资源量等指标来计算水资源负载指数,如下:

$$C = \frac{K\sqrt{(P \times G)}}{W} \tag{1}$$

式中:C为水资源负载指数;P为人口数量(10^4人);G为生产总值(10^8美元);W为水资源量(10^8 m^3);K为与降水有关的系数,计算如下:

$$K = \begin{cases} 1.0 & , R \leqslant 200 \\ 1.0 - \dfrac{0.1(R-200)}{200} & , 200 < R \leqslant 400 \\ 0.9 - \dfrac{0.2(R-400)}{400} & , 400 < R \leqslant 800 \\ 0.7 - \dfrac{0.2(R-800)}{800} & , 800 < R \leqslant 1600 \\ 0.5 & , R \geqslant 1600 \end{cases} \tag{2}$$

式中:R为降水量(mm)。

C值越高,表明水资源利用程度越高,开发潜力越小,反之则表明水资源利用程度低,开发潜力大。参照"一带一路"沿线国家水资源开发潜力的分析结果[19],采用类似的水资源负载指数分级评价标准,如表2所示。

对比分析水资源量的空间差异,定义地表年径流深(R, mm)为区域年水资源量(W, 10^8 m^3)与相应面积(S, km^2)之比,公式如下:

$$R = 100000W/S \tag{3}$$

3 研究结果

3.1 地表水资源量空间分布特征

"中蒙俄经济走廊"水资源量呈现"东多西少、北多南少、中间最少"的分布格局(图2)。俄罗斯部分地表水资源最为丰富,约占经济走廊总量的95.4%,其中9个行政单元地表水资源量超1.0×10^{11} m^3。各行政区地表径流深差异较大,8个行政区超过1000 mm(如:犹太自治州高达6606 mm),3个行政区介于500~1000 mm之间(东西伯利亚山地地区为主),另有16个行政区小于500 mm(最小为189 mm),多位于中西伯利亚高原和西西伯利亚平原地区。

蒙古国12个行政区地表水资源量均小于1.00×10^{10} m^3,在经济走廊内最为匮乏。地表年径流深最大的行政区为乌兰巴托市(164 mm),蒙古高原北部部分地区地表年径流深大于20 mm,而南部与西部的8个行政区则小于20 mm,部分地区(如南戈壁盟)甚至不到2 mm。中国东三省地表年径流深介于104~151 mm,内蒙古自治区最小(约34 mm)。

"中蒙俄经济走廊"水资源空间分布不均,且将随着气候变暖,出现一系列与水资源相关的问题及风险。短期内,俄罗斯北部、中南部地区的大河径流量持续增大。长期来看,气候变化将导致山区洪水、泥石流泛滥等极端水文事件趋于频繁[20-21]。研究表明,自1993年起,蒙古国部分河流径流量明显减少,湖泊水量也相应降低。近20 a,蒙古国境内已有450个湖泊及700多条河流干涸,水资源分布时空差异加大,旱涝两极分化趋势增加,生态环境面临更为严峻的挑战[10]。

表2 水资源负载指数分级评价

Tab. 2 Evaluation classification for carrying index of water resources

级别	C值	水资源利用程度及开发潜力	未来水资源开发评价
Ⅰ	> 10	很高,潜力很小	艰巨,有条件时需要外流域调水
Ⅱ	5~10	高,潜力小	开发条件很困难
Ⅲ	2~5	中等,潜力较大	开发条件中等
Ⅳ	1~2	较低,潜力大	开发条件容易
Ⅴ	< 1	低,潜力很大	兴修中小工程,开发容易

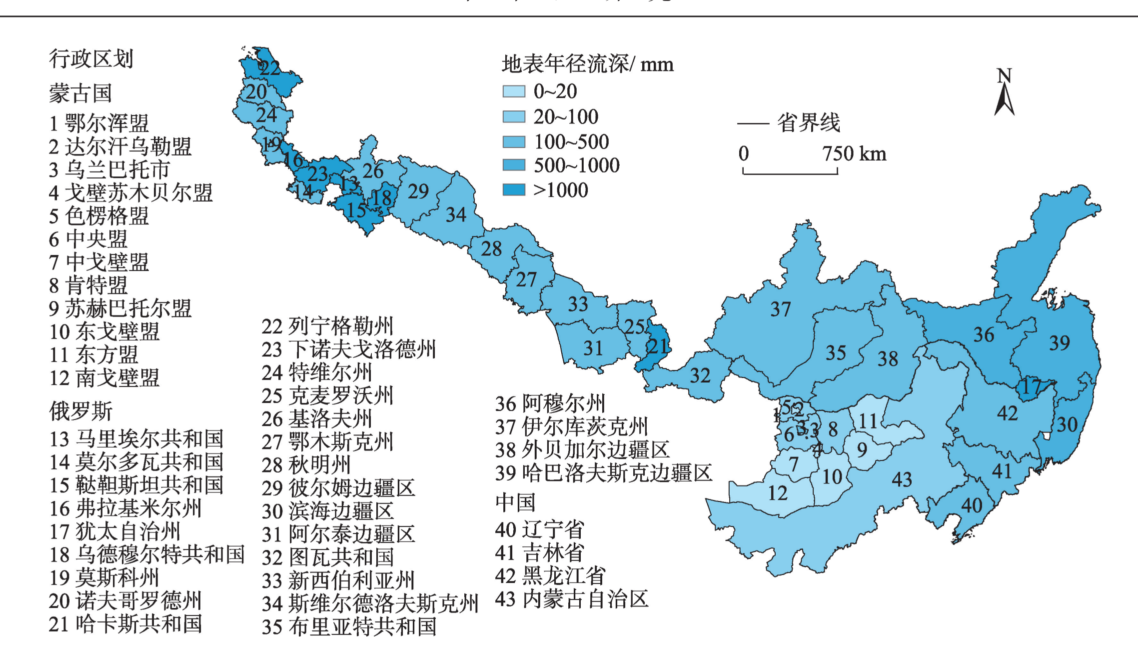


图2 2016年"中蒙俄经济走廊"地表年径流深分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual surface water runoff depths in the "China-Mongolia-Russia Economic Corridor" in 2016

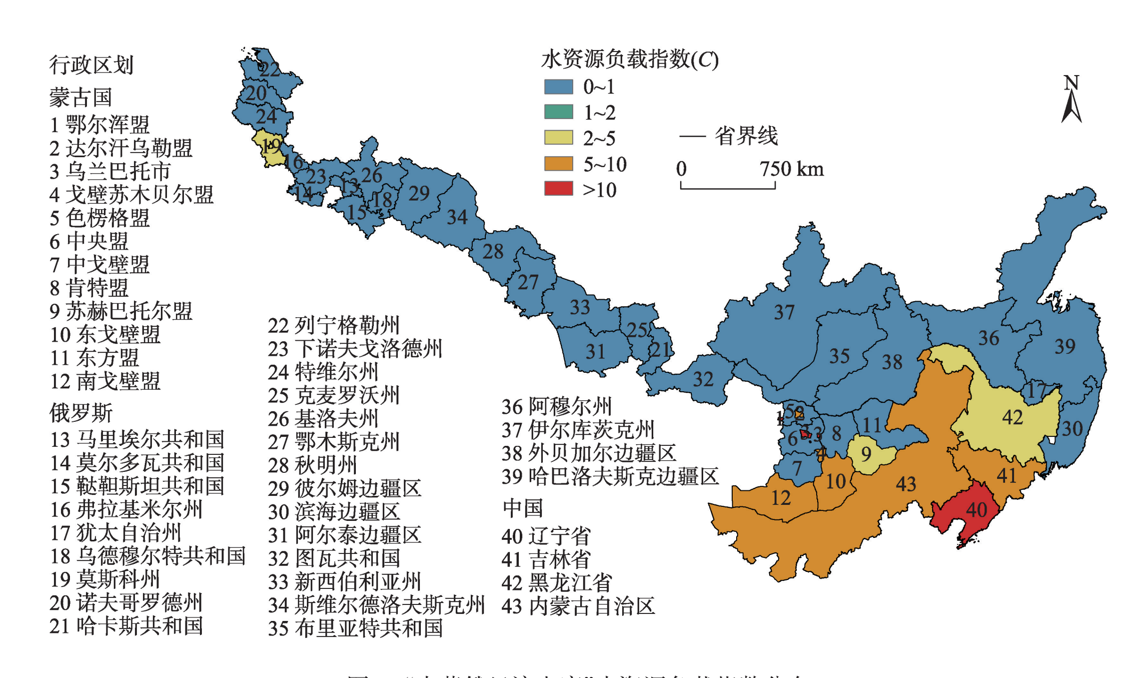


图3 "中蒙俄经济走廊"水资源负载指数分布

Fig. 3 Distribution of the carrying index of water resources in the "China-Mongolia-Russia Economic Corridor"

3.2 水资源开发潜力分析

3.2.1 "中蒙俄经济走廊"水资源开发利用程度分析 俄罗斯27个行政区中,仅莫斯科州的水资源负载指数(C)>1(图3)。俄罗斯充沛的水资源主要得益于优越的自然地理和气候条件。对比经济走廊内人口及GDP数据发现,俄罗斯地广人稀的社会生产生活特征,使得水资源整体利用率低,并得以大量保存,开发利用潜力较大。

蒙古国12个行政区C值的空间差异较大,整体呈"南高北低"。其中,5个C值小于1的行政区均集中于北部,3个C值介于1~10的行政区位于南部中、蒙边界处。蒙古国地区不均衡发展使得部分省级行政区经济相对发达,人口较多,加之北方地区地表年径流深略高于南方,南方地区C值普遍高于北方,其中乌兰巴托市为12.84,鄂尔浑盟行政区则高达130.62。中国黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古4个省

份的 C 值较高，均处于3~19之间，其主要原因为经济发展较快，水资源开发利用程度较高（图3）。

3.2.2 “中蒙俄经济走廊”水资源区带划分 结合“中蒙俄经济走廊”43个行政区的水资源负载指数，可将其划分为水资源开发潜力很大、大、较大、小、很小5个等级。其中，俄罗斯大部分地区水资源开发潜力大，开发也最容易；而蒙古国南部及中国内蒙古自治区、辽宁省、吉林省开发潜力较小（图4）。

（1）水资源开发潜力很大的地区（$0<C\leq 1$）

$C<1$ 的地区，主要为俄罗斯境内大部分地区及蒙古国北部。其中，东欧平原的诺夫哥罗德州、马里埃尔共和国、鞑靼斯坦共和国、基洛夫州、乌德穆尔特共和国以及位于西西伯利亚平原的秋明州等，地势平坦，拥有伏尔加河、鄂毕河等大河，加上其温带大陆性气候，年降水量均超过400 mm（诺夫哥罗德州最高约937 mm），地表水资源十分丰富，水资源开发潜力大。

此外，中西伯利亚高原南部图瓦共和国、哈卡斯共和国、布里亚特共和国、伊尔库茨克州，东西伯利亚山地南部的犹太自治州、滨海边疆区、阿穆尔州、外贝加尔边疆区、哈巴洛夫斯克边疆区以及位于色楞格河流域上游地区的蒙古国肯特盟、色楞格盟的 C 值均小于1，其原因在于中西伯利亚高原南部地区属于典型温带大陆性气候，年均气温较低，水资源蒸发损失较少；而东西伯利亚山地地势较高，距离太平洋很近，属于温带季风气候，降水量充沛；加之其较低的GDP及工业用水量，水资源开发潜力很大。

（2）水资源开发潜力大的地区（$1<C\leq 2$）

研究区内无 C 值介于1~2之间的行政区，表明经济走廊内水资源开发潜力具有“两级分化”的特点，具体表现为：北部地区水资源利用程度低、开发潜力大，而南部开发潜力小。

（3）水资源开发潜力较大的地区（$2<C\leq 5$）

俄罗斯莫斯科州、蒙古国苏赫巴托尔盟及中国黑龙江省为水资源利用程度中等，但开发潜力仍较大的地区。水资源开发潜力较大的中蒙俄上述地区，其主导因素不尽相同，俄罗斯水资源开发潜力主要受控于地区社会经济发展程度，而对于水资源相对紧张的蒙古和中国，相对丰富的地表水资源量会显著提升水资源开发潜力。

（4）水资源开发潜力小的地区（$5<C\leq 10$）

水资源开发潜力小的地区主要分布在蒙古国中南部、北部的达尔汗乌勒盟及中国吉林省、内蒙古自治区。这些地区虽然经济发展差距较大，但水资源短缺是导致其水资源开发潜力小的最根本原因，如：蒙古国戈壁苏木贝尔盟地表水资源量仅 1×10^7 m^3，2016年平均年降水量仅为104 mm。而长期的工业发展，将使水资源短缺日益加剧，进一步降低水资源利用潜力。

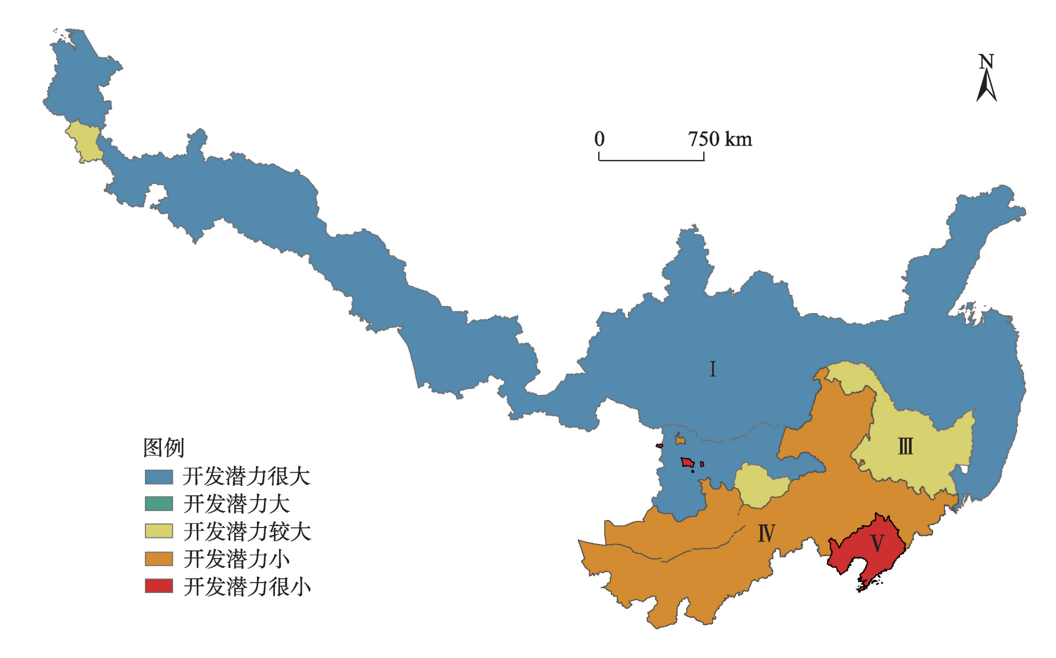


图4 “中蒙俄经济走廊”水资源开发潜力区划分

Fig. 4 Potential zone of water resource development in the “China-Mongolia-Russia Economic Corridor”

（5）水资源开发潜力很小的地区（C>10）

水资源开发潜力很小的地区为蒙古国鄂尔浑盟、乌兰巴托市以及中国辽宁省。鄂尔浑盟的社会经济发展处在蒙古国中等水平，但其地表水资源量仅5×10^6 m^3，远不足支撑社会经济发展，因此C值属整个经济走廊最高（130.62），但水资源开发潜力很小。乌兰巴托市作为蒙古国的首都，人口为12个蒙古行政区之首（1.44×10^6人），社会经济发展程度高，对水资源的需求量极大，水资源开发潜力很小。辽宁省作为中国的老工业基地，尽管地表水资源量处于中等水平，却仍面临较大的生产和生活用水需求，水资源呈现严重短缺，开发潜力极小。因此，水资源量和经济社会发展程度是水资源开发潜力的决定性因素，匮乏的水资源或快速的社会经济发展均会导致水资源开发潜力的显著降低。

3.2.3 “中蒙俄经济走廊”水资源条件典型区域分析 在水资源量和人口、经济等多重因素的共同影响下，水资源开发潜力存在一定规律，水资源量较高的地区，开发潜力普遍较大，而经济社会发达的地区，水资源利用程度也随之升高。但部分地区由于其自然环境或人类社会发展特征，具有一定的特殊性，需在水资源开发利用过程中格外重视。

（1）水资源极度匮乏地区——蒙古国鄂尔浑盟

蒙古国地表水资源极度匮乏，其中鄂尔浑盟是研究区内水资源最为短缺的地区，地表水资源量最低（5×10^6 m^3），GDP及人口却在蒙古国行政区中位居第二（C>100）。因此，在蒙古国区域发展不均的现状下，水资源对当地水资源潜力起决定性作用。当前，该地区的地表水资源量少且开发利用程度高，在水资源总量严重不足的情况下，社会经济发展已经受到水资源的严重制约，是“一带一路经济走廊”建设中应重点关注的地区。

（2）水资源量较高但开发潜力低的地区——中国四省（自治区）

中国四省（自治区）地表年径流深普遍高于蒙古国，但水资源开发潜力却明显低于蒙古国北部水资源贫乏地区。中国四省（自治区）人口密集，均在2×10^7人以上，GDP总量约为俄、蒙两国39个行政区总和的3倍。在社会经济快速发展的地区，水资源量不是决定开发潜力的唯一要素，人类生活、生产用水对水资源利用程度的影响将会更大。随着区域发展程度提高，水资源消耗量增大，需平衡好经济社会与水资源的协调发展。

（3）水资源量少但仍具有开发潜力的地区——蒙古国北部地区

蒙古国的经济中心位于首都乌兰巴托，其GDP约占研究区蒙古国地区的76%。除乌兰巴托外，蒙古其他地区经济发展均较为落后。其北部地区地表水资源总量虽然不高，但由于其水资源消耗量小，尽管水资源有限，但仍具有一定的开发潜力。因此，这些地区的发展暂时不会受到水资源的限制，可优先考虑这类水资源较少地区的城市发展及优化配水体系。

3.3 “中蒙俄经济走廊”水资源合作前景及建议

俄罗斯西伯利亚地区水资源丰富，开发利用潜力很大。俄罗斯学者曾提出，应在满足本国生产生活用水需求的同时，加大淡水资源利用，通过将西伯利亚地区水资源输入中亚缺水地区[22]等方式，拉动经济增长[23]，但由于较高技术成本及生态环境风险，该计划一度被搁浅。当前俄罗斯主要通过虚拟水和瓶装水方式向境外输出水资源[24]。近年来，伴随全球变暖，西伯利亚地区降水资源显著增加[25]，河流径流量也呈增长趋势[26]，中蒙俄三国可以通过合作，利用西伯利亚淡水资源，缓解蒙古国等地不断加剧[27]的干旱。但当前跨国水资源合作也面临包括用水模式差异[28]、流域水文化分歧、水利工程成本过高、经济成本回收周期较长、过度开发利用水资源引发的生态环境破坏以及工程技术方面的不足等挑战[7]。

“一带一路”倡议为中、蒙、俄三方合作提供有利契机，不仅为水资源的合理开发利用搭建合作平台，也促进了政治、经济、文化领域的合作共识，而技术方面，中国“南水北调”工程的实施已积累了一定的技术经验。因此，中蒙俄三方在水资源合作开发方面具有广阔前景。我国在平衡北方4省（自治区）水资源与区域发展关系的同时，要关注蒙古国鄂尔浑盟、达尔汗乌勒盟、戈壁苏木贝尔盟和东戈壁盟等水资源匮乏地区在发展过程中的水问题。优先发展蒙古国北部经济落后但尚不受水资源限制的地区，并通过区域水资源配置来合理利用俄罗斯丰富的水资源，在缓解水资源短缺的同时，带动沿线地区经济的可持续发展。

4 结 论

“中蒙俄经济走廊”地表水资源呈“东多西少、

北多南少、中间最少"空间格局。其中,俄罗斯和蒙古国北部开发潜力较大,蒙古国南部及中国四省(自治区)开发潜力较小。水资源开发利用程度主要取决于各地区的水资源量及社会经济发展程度。俄罗斯水资源丰富且地广人稀,具有为"中蒙俄经济走廊"水资源短缺地区提供水资源的潜在条件。蒙古国南部和中国四省(自治区)人口密集、经济相对发展,具有较大用水需求,是"中蒙俄经济走廊"水资源优化配置重点关注地区。跨地区的水资源合作与合理开发利用将有助于带动"中蒙俄经济走廊"的整体经济发展。因此,在"一带一路"倡议背景下,中、蒙、俄三方有望加强科技合作,共同促进区域水资源优化配置及水资源贸易方面的发展。

参考文献(References):

[1] William A J, Henry V J. The role of science in solving the world's emerging water problems[J]. Pnas, 2005, 102(44): 15715-15720.

[2] Vorosmarty C J, Mcintyre P B, Gessner M O, et al. Global threats to human water security and river biodiversity[J]. Nature, 2010, 467(7315): 555-561.

[3] Castro P, Azul A M, Leal F W, et al. Climate Change-Resilient Agriculture and Agroforestry[M]. Switzerland: Climate Change Management, 2019: 115-136.

[4] Bezrukov L A, Gagarinova O V, Kichigina N V, et al. The water resources of Siberia: Present state, problems, and potential uses[J]. Geography and Natural Resources, 2014, 35(4): 326-336.

[5] Connor R, Uhlenbrook S, Koncagül E. UN World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind[R]. Geneva: UNESCO, 2019.

[6] Arnell N. Climate change and global water resources[J]. Global Environmental Change, 1999, 9(S1): S31-S49.

[7] 王平, 王田野, 王冠, 等. 西伯利亚淡水资源格局与合作开发潜力分析[J]. 资源科学, 2018, 40(11): 2186-2194. [Wang Ping, Wang Tianye, Wang Guan, et al. Pattern of freshwater resources in Siberia and analysis of potential for cooperative development[J]. Resources Science, 2008, 40(11): 2186-2194.]

[8] Menzez L, Törnros T, Marberg I. Climate Change and Water Resources in Northern Mongolia[R]. Vienna: EGU General Assembly, 2014.

[9] Chen Y, Takeuchi K, Xu C, et al. Regional climate change and its effects on river runoff in the Tarim Basin, China[J]. Hydrological Processes, 2006, 20(10): 2207-2216.

[10] Wang P, Yu J, Pozdniakov S P, et al. Shallow groundwater dynamics and its driving forces in extremely arid areas: A case study of the lower Heihe River in northwestern China[J]. Hydrological Processes, 2014, 28(3): 1539-1553.

[11] World resources institute. Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings[D]. https://www.wri.org/resources/data-sets/aqueduct-projected-water-stress-country-rankings, 2015-08.

[12] 董锁成, 李懿珈, 李富佳, 等. 中蒙俄经济走廊交通及管线建设的生态风险区划及对策研究[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(2): 141-149. [Dong Suocheng, Li Yijia, Li Fujia, et al. Ecological risk zoning and countermeasures of transportation and pipeline construction in China-Mongolia-Russia economic corridor[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(2): 141-149.]

[13] 王学超. 东北生态农业发展现状及对策研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018. [Wang Xuechao. Development Status and Countermeasures of Ecological Agriculture in Northeast China[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2018.]

[14] Росгидромет. Водный Кадастр Российской Федерации. Ресурсы Поверхностных И Подземных Вод, Их Использование И Качество. Ежегодное Издание, 2016 Год[M]. СПб: ООО "Эс Пэ Ха", 2017.

[15] Yondon O, Galtbalt B. Ministry of Environment and Green Development of Mongolia[R]. Mongolia: Integrated Water Resource Management National Assessment Report, Ulanbaatar Province, 2012.

[16] Hobeichi S, Abramowitz G, Contractor, et al. Evaluating precipitation datasets using surface water and energy budget closure[J]. Journal of Hydrometeorology, 2020, 21(5): 989-1009.

[17] 封志明, 刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 689-699. [Feng Zhiming, Liu Dengwei. A study on water resources carrying capacity in Jingjinji region[J]. Journal of Natural Resource, 2006, 21(5): 689-699.]

[18] 张丹, 封志明, 刘登伟. 基于负载指数的中国水资源三级流域分区开发潜力评价[J]. 资源科学, 2008,30(10): 1471-1477. [Zhang Dan, Feng Zhiming, Liu Dengwei. Potential assessment of water resources development in China's three-tier water basins based on load index[J]. Resources Science, 2008, 30(10): 1471-1477.]

[19] 杨艳昭, 封志明, 孙通, 等. "一带一路"沿线国家水资源禀赋及开发利用分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1146-1156. [Yang Yanzhao, Feng Zhiming, Sun Tong, et al. Analysis of water resource endowment and development utilization in countries along the "one belt and one road"[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(6): 1146-1156.]

[20] Gleick P H, Palaniappan M. Peak water limits to freshwater withdrawal and use[J]. Pnas, 2010, 107(25): 11155-11162.

[21] Sandra L P, Gretchen C D, Paul R E. Human appropriation of renewable fresh water[J]. Science, 1996, 271(5250): 785-788.

[22] Андреев И. Стратегический ресурс национальной экономики и международной политики[J]. Свободная Мысль, 2014, 4(1646): 201-214.

[23] Данилов-Данильян В И. Вода-стратегический фактор развития экономики россии[J]. Вестник Российской Академии Наук, 2007, 77(2): 108-114.

[24] Горюнова С В, Суздалева А Л. О необходимости формирования цивилизованного рынка пресной воды[J]. Актуальные пробл емы гуманитарных и естественных наук, 2015, 11(1): 115-117.

[25] 黄其威, 刘诗奇, 王平, 等. 1936—2018年环北极典型流域气温

与降水时空变化[J]. 资源科学, 2020, 42(11): 2119-2131. [Huang Qiwei, Liu Shiqi, Wang Ping, et al. Spatiotemporal variability of temperature and precipitation in typical Pan-Arctic basins, 1936-2018[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2119-2131.]

[26] Wang P, Huang Q, Pozdniakov S P, et al. Potential role of permafrost thaw on increasing Siberian river discharge[J]. Environmental Research Letters, 2021, 16(3): 034046. DOI: 10.1088/1748-9326/ABE326.

[27] 闫昕旸, 张强, 张文波, 等. 泛中亚干旱区气候变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 1-11. [Yan Xinyang, Zhang Qiang, Zhang Wenbo, et al. Analysis of climate characteristics in the Pan-Central-Asia arid region[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 1-11.]

[28] 刘振伟, 陈少辉. "一带一路"沿线国家水资源及开发利用[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 809-818. [Liu Zhenwei, Chen Shaohui. Analysis of water resources and their utilization in countries targeted by the "Belt and Road" initiative[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 809-818.]

Evaluation of water resource exploration potential of the China-Mongolia-Russia Economic Corridor based on carrying capacity

LI Li[1,2], LIU Shiqi[1], WANG Ping[1,3], QIAO Yuan[2], WANG Tao[2], WANG Tianye[4], LI Zehong[1,3], Tcogto Bazarzhapov[1,3]

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Key Laboratory for Resource Use and Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: In this study, the data of surface water resources, precipitation, population, and gross domestic product for 43 provincial administrative units in the China-Mongolia-Russia economic corridor in 2016 were used to systematically analyze the distribution characteristics and development potential of water resources in these regions by calculating the carrying capacity of water resources. We found that there were more surface water resources in the north and east of the China-Mongolia-Russia economic corridor and less in the west and south, with the middle of the area having the least water resources. Provincial administrative units in Russia were rich in surface water resources, accounting for about 95% of the total surface water resources of the economic corridor. These administrative units in Russia were characterized by having a low population, low demand for water resources, low exploitation and utilization, and high potential for water resources development. Regions in Mongolia were relatively rich in surface water resources in the north, with five administrative regions having a water resources carrying capacity of less than one, which indicates potential for development. However, there was a severe shortage of surface water resources found for the southern part of the Mongolia are in the economic corridor. For three northeastern provinces and the Inner Mongolia Autonomous Region of China, the development potential of water resources is low, as their water resources carrying capacities are more than two due to relatively high population densities and the high demand for water resources. The water resources carrying capacity in these regions was higher than two and had low development potential. From the perspective of optimal regional water allocation, the southern part of Mongolia and the four provinces (autonomous regions) of China are the key areas that require the optimal allocation of water resources. There are opportunities in Russia to solve water shortage problems in other regions of the China-Mongolia-Russia Economic Corridor. However, as the exploitation of water resources is closely linked to socio-economic development of each area, cooperation over water resources within the China-Mongolia-Russia economic corridor requires further study.

Keywords: China-Mongolia-Russia Economic Corridor; spatial distribution characteristics of water resources; water resources development potential; water resources carrying capacity